

В.Е. САВАНЕВИЧ, докт. техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков

А. М. КОЖУХОВ, инж., Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория

А. Б. БРЮХОВЕЦКИЙ, инж., Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория

В. П. ВЛАСЕНКО, инж., Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория

В.Н. ТКАЧЁВ, соиск., ХНУРЭ, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ РАЗМЫТИЯ ДЛЯ МЕТОДА СЛОЖЕНИЯ ПЗС-КАДРОВ С НАКОПЛЕНИЕМ СИГНАЛА ОТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА

Разработан метод определения оптимальных значений элементов матрицы размытия для метода сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением. Оптимальные значения элементов матрицы размытия определяются методом имитационного моделирования на экспериментальных данных индивидуально для каждого оптического средства. Приведены оптимальные значения элементов матрицы размытия для нескольких оптических средств.

Ключевые слова: астероид, накопление сигнала от астероида, сложение ПЗС-кадров.

Розроблений метод визначення оптимальних значень елементів матриці розмиття для методу додавання ПЗЗ-кадрів з накопиченням сигналу від астероїда зі слабким блиском і ненульовим видимим рухом. Оптимальні значення елементів матриці розмиття визначаються методом імітаційного моделювання на експериментальних даних індивідуально для кожного оптичного засобу. Приведені оптимальні значення елементів матриці розмиття для кількох оптичних засобів

Ключові слова: астероїд, накопичення сигналу від астероїда, додавання ПЗЗ-кадрів.

The method of detection of the best value of blurring matrix' elements for the method of CCD-frames' stacking with signal's accumulation from a faint asteroid with nonzero apparent motion on series of CCD-frames is worked out. Estimation of the best value of blurring matrix' elements is done using method of simulation on experimental data for each optical facility individually. The best values of blurring matrix' elements for some optical facilities are represented.

Key words: asteroid, signal accumulation from an asteroid, CCD-frames stacking.

1. Введение

Накопление сигнала от объекта позволяет повысить показатели качества его обнаружения и точность оценки его параметров. Особенно это актуально для оптико-электронных средств (ОЭС), использующих телескопы с малыми апертурами и, следовательно, невысокими характеристиками проникающей способности. Однако, из-за значительных видимых собственных движений астероидов для них невозможно применить такие классические астрономические методы накопления сигналов, как увеличение времени экспозиции или простое сложение кадров ПЗС-наблюдений одной области небесной сферы. Методы сложения кадров с накоплением сигналов от движущихся объектов (методы СКДО), учитывающие данную особенность наблюдений астероидов не могут

учесть всех влияющих факторов (например, влияния турбулентности атмосферы на распределение амплитуд пикселей ПЗС-матрицы) при определении значений используемых при сложении взаимных сдвигов ПЗС-кадров. Одним из вариантов повышения эффективности накопления энергии данного сигнала при проведении СКДО является проведение некоторого дополнительного размытия сигнала с помощью сглаживающего цифрового фильтра низких частот [1, 2]. Характеристики данного фильтра определяются матрицей (маской) размытия. Наибольшей эффективности можно добиться в случае применения матрицы размытия с оптимальными значениями элементов.

2. Анализ литературы

Общее описание цифровых фильтров низких частот приведено в [1], а пример их применения для задач определения видимого блеска звезд приведен в [2]. В обоих случаях значения элементов матрицы размытия считаются фиксированными для всех обрабатываемых изображений (кадров). В работе [3] разработан метод СКДО, использующий матрицу размытия для повышения эффективности накопления энергии небесных объектов, а также для уменьшения количества ложных накоплений. При этом формула для амплитуды ik -го пикселя суперкадра $A_{\Sigma ik}$, с учетом матрицы размытия, имеет вид:

$$A_{\Sigma ik} = \sum_{t=t_1}^{t_1+N_{\text{ПЗ}}-1} \sum_{e=0}^1 \sum_{g=0}^1 \sum_{j_p=0}^{2n} \sum_{i_p=-n}^n \gamma_{egt} \cdot M_{pj_p(i_p+n)} \cdot A_{(i+i_p+\Delta N_{xt}+e \cdot j_{xt}), (k-j_p+1+\Delta N_{yt}+g \cdot j_{yt})t}, \quad (1)$$

где $A_{(i+i_p+\Delta N_{xt}+e \cdot j_{xt}), (k-j_p+1+\Delta N_{yt}+g \cdot j_{yt})t}$ – амплитуда смещаемого пикселя текущего (t -го) кадра;

$\Delta N_{xt} = E(\Delta x_t), \Delta N_{yt} = E(\Delta y_t)$ – приращения номеров пикселей итогового кадра относительно текущего кадра по соответствующим координатам;

t_1 – первый кадр подсерии, для которой проводится СКДО;

$N_{\text{ПЗ}}$ – количество кадров подсерии, участвующих в СКДО;

$E(\cdot)$ – операция выделения целой части;

γ_{egt} – весовой коэффициент, зависящий от значений и направления сдвигов текущего кадра относительно базового по каждой координате;

$M_{pj_p(i_p+n)}$ – элемент матрицы размытия.

Матрица размытия M_p в [3] представляет собой квадратную матрицу размера $(2n+1) \times (2n+1)$, где n – размер области пикселей, соседних с конкретным (основным) пикселем текущего кадра, амплитуда которых будет принимать участие в процессе размытия. В элементы M_p записываются выбранные веса таким образом, что вес центрального элемента, соответствующего размываемому пикселю, всегда равен 1, а веса остальных меньше единицы. Например, для $n=1$:

$$M_p = \begin{pmatrix} M_{p00} & M_{p01} & M_{p02} \\ M_{p10} & M_{p11} & M_{p12} \\ M_{p20} & M_{p21} & M_{p22} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Рекомендаций по выбору конкретных значений элементов матрицы размытия, кроме центрального, в работе представлено не было.

3. Цель статьи

Необходимо разработать метод определения оптимальных значений элементов матрицы размытия, которые обеспечивают наилучшую условную вероятность правильного обнаружения (УВПО) астероида. При этом значение условной вероятности ложного обнаружения (УВЛО) астероида F^* не должно превышать требуемое $F_{треб}^*$, оценка координат местоположения астероида должна соответствовать критерию максимального правдоподобия, а среднее СКО $\sigma_{\alpha,\delta}$ указанной оценки не должно превышать значения СКО оценки координата, полученной без использования матрицы размытия ($n=0$) σ_0 более чем на заранее заданную величину.

4. Постановка задачи

Матрица размытия M_p определена ранее. В элементы матрицы размытия M_p записываются выбранные веса таким образом, что значение центрального элемента, соответствующего размываемому пикселю, всегда равно 1, а значения остальных – не превышает единицы. Величина погрешностей, для компенсации которых применяются матрица размытия, не превышают размера одного пикселя. Это делает обоснованным использование при проведении СКДО матриц размытия ограниченного размера 3×3 элемента ($n=1$). Нет оснований считать матрицу размытия несимметричной относительно центрального элемента, поэтому ее элементы, кроме центрального, могут принимать только два значения (λ, β):

$$M_p = \begin{pmatrix} \lambda & \beta & \lambda \\ \beta & 1 & \beta \\ \lambda & \beta & \lambda \end{pmatrix}.$$

При этом $\lambda \leq \beta$, $\lambda < 1$, $\beta \leq 1$.

Необходимо найти такие значения λ, β , при которых оценка УВПО астероида \mathcal{B}_0 на серии суперкадров будет наибольшей:

$$\mathcal{B}_0(\beta, \lambda, \theta_j, m_{jA}) \xrightarrow{\beta, \lambda} \max, \quad (3)$$

$$\text{при } \sigma_{\alpha,\delta}(\beta, \lambda, m_{jA}) \leq k_0 \sigma_0(m_{jA}) \text{ для } j = 1, \dots, Q; \quad (4)$$

$$\hat{F}^* \leq F_{треб}^*, \quad (5)$$

$$\text{где } \sigma_{\alpha,\delta}(\beta, \lambda, m_{jA}) = \frac{\sum_{t=1}^{N_c} \sigma_{\alpha,\delta(t)}}{N_c} \quad - \text{ среднее СКО оценки экваториальных}$$

координат астероидов на серии суперкадров;

$$\sigma_{\alpha, \delta(t)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{36t}} (\epsilon_{it} - \alpha_{k(it)})^2 + \sum_{i=1}^{N_{36t}} (\delta_{it} - \delta_{k(it)})^2}{N_{36t} - 1}} \quad - \text{среднее СКО оценки}$$

экуаториальных координат астероида на t -м суперкадре;

m_{jA} – видимый блеск j -го астероида;

θ_j – параметры траектории j -го астероида;

N_c – количество суперкадров в серии;

k_0 – коэффициент пропорциональности, в данной работе принятый равным 1,2;

$$\hat{D}_\theta(\theta_j, m_{jA}) = \frac{N_A}{N_{AMPC}}; \quad (6)$$

– оценка УВПО отметок от астероида на серии суперкадров;

$$\epsilon^* = \frac{N_{лотм}}{N_{cmp}}; \quad (7)$$

– оценка УВЛО астероида при обнаружении отметок от астероида на серии суперкадров;

$\hat{\alpha}_{it}, \hat{\delta}_{it}$ – оценки экуаториальных координат i -й отметки, отождествленной с k -й каталожной звездой на t -м суперкадре;

$\alpha_{k(it)}, \delta_{k(it)}$ – каталожные значения экуаториальных координат k -й каталожной звезды, отождествленной с i -й отметкой на t -м суперкадре;

N_{36t} – количество используемых опорных звезд на t -м суперкадре;

N_A – количество отметок от астероидов, сформированных на серии кадров;

N_{AMPC} – количество астероидов, находящихся на серии кадров по данным МРС, видимый блеск которых превышает заданную величину;

$N_{лотм}$ – количество ложных отметок, сформированных на серии кадров;

$N_{cmp} = N_c \cdot \frac{N_{ПЗС}}{N_{СВКОс}}$ – количество возможных стробов внутрикадровой

обработки, в которых предполагается наличие сигнала.

Предполагается, что условия наблюдения и используемая аппаратура позволяют обеспечить необходимую точность оценки экуаториальных координат. Методы получения максимально правдоподобных оценок экуаториальных координат описаны в работах [4, 5].

5. Влияние элементов матрицы размытия на качество обнаружения астероидов

Обнаружение астероидов осуществляется на серии кадров. Отдельные этапы обнаружения и их взаимосвязь представлены на Рис 1. Каждый кадр представляет собой совокупность потенциалов, зарегистрированных на выходе $N_{ПЗС}$ пикселей ПЗС-матрицы в момент времени t , соответствующий формированию кадра $U_{ucx} = (v_{11t}, \dots, v_{ikt}, \dots, v_{N_{ПЗС}t})$. Кроме того, в качестве исходных данных используется опорный звездный каталог Y_{cat} , который можно представить как

совокупность параметров входящих в него звезд (количество которых составляет N_{36}): $Y_{cat} = (Y_{1cat}, \dots, Y_{icat}, \dots, Y_{N_{36}cat})$.

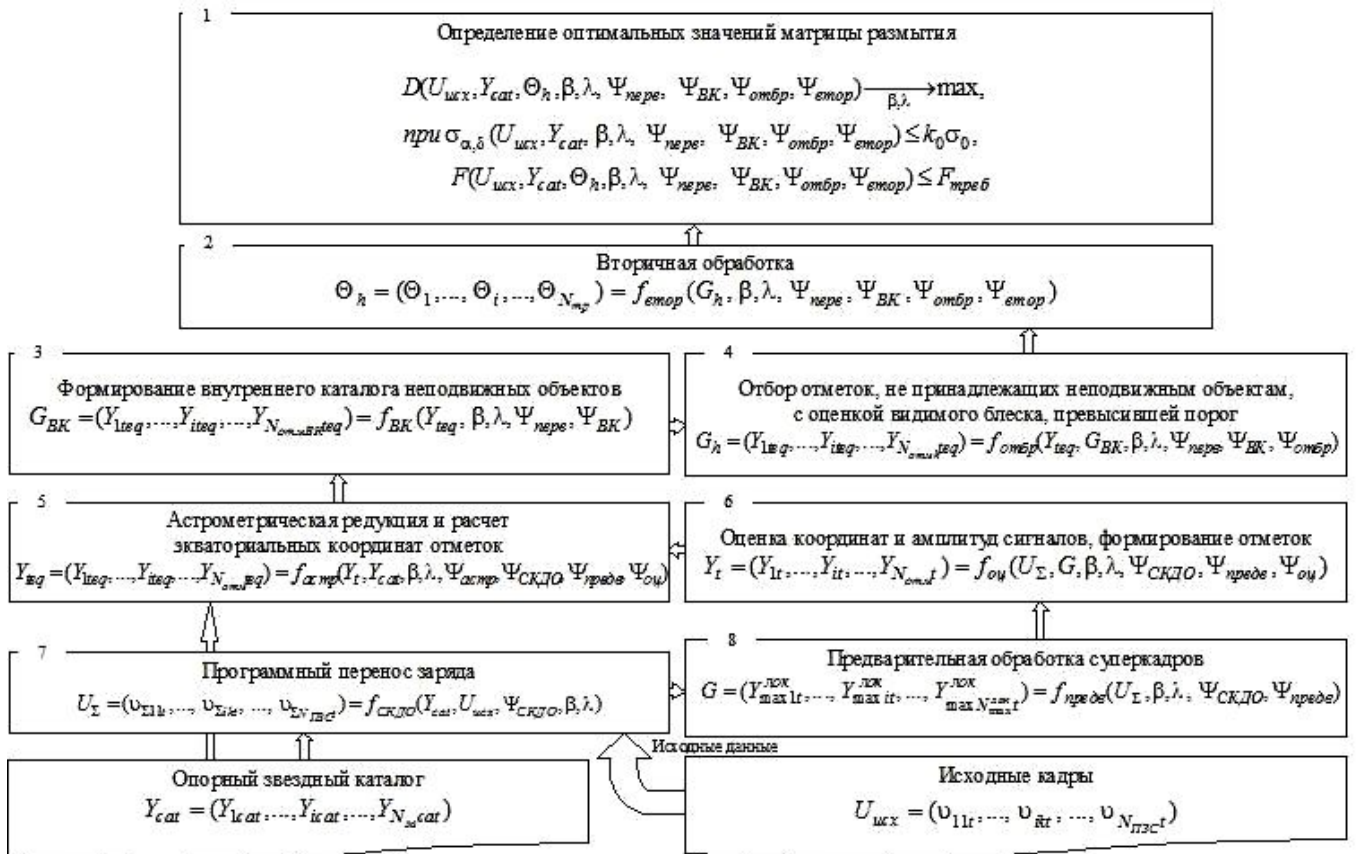


Рис.1 Определение оптимальных значений матрицы размытия

На основе этих исходных данных формируются суперкадры методом сложения кадров с накоплением сигнала от движущегося объекта (СКДО) [3], одной из составляющих которого является применение матрицы размытия. Суперкадры представляют собой также совокупность потенциалов $N_{ПЗС}$ пикселей $U_\Sigma = (v_{\Sigma 1t}, \dots, v_{\Sigma it}, \dots, v_{\Sigma N_{ПЗС}t})$. В отличие от исходных кадров, значения данных потенциалов зависят от значений исходных потенциалов пикселей, от параметров программного переноса заряда $\Psi_{СКДО}$ (параметры взаимного смещения кадров внутри подсерии, значения минимальной и максимальной скорости, шаг по скорости и так далее), а также от величины значений искомых элементов λ, β , то есть: $U_\Sigma = f_{СКДО}(Y_{cat}, U_{ucx}, \Psi_{СКДО}, \beta, \lambda)$.

Полученные суперкадры переходят на стадию предварительной отбраковки, в ходе которой формируется совокупность $N_{\max}^{лок}$ прошедших отбраковку локальных максимумов изображения $G = (Y_{\max 1t}^{лок}, \dots, Y_{\max it}^{лок}, \dots, Y_{\max N_{\max t}}^{лок})$. Данная совокупность зависит как от параметров проведения ППЗ так и от параметров предварительной отбраковки $\Psi_{предв}$ (значение коэффициента отбраковки, пороговое значение различия медианного и среднего значений): $G = f_{предв}(U_\Sigma, \beta, \lambda, \Psi_{СКДО}, \Psi_{предв})$. Затем для каждой совокупности локальных максимумов проводится оценка координат и амплитуду сигналов, методом,

изложенному в [4], которая также имеет свои параметры Ψ_{oc} (размер строба внутрикадровой обработки, размер строба внутрикадровой обработки, в котором предполагается наличие сигнала, максимально возможное количество итераций и так далее). Соответственно, на выходе для каждого суперкадра формируется совокупность N_{omm} отметок $Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{it}, \dots, Y_{N_{omm}t}) = f_{oc}(U_{\Sigma}, G, \beta, \lambda, \Psi_{CKDO}, \Psi_{предв}, \Psi_{oc})$.

Для отметок, сформированных на каждом суперкадре, проводится их отождествление с опорным звездным каталогом и расчет экваториальных координат отметок, согласно методу, рассмотренному в [5], в результате которых формируется совокупность оценок экваториальных координат, соответствующая сформированным отметкам

$$Y_{teq} = (Y_{1teq}, \dots, Y_{iteq}, \dots, Y_{N_{omm}teq}) = f_{асгр}(Y_t, Y_{cat}, \beta, \lambda, \Psi_{асгр}, \Psi_{CKDO}, \Psi_{предв}, \Psi_{oc}),$$

где $\Psi_{асгр}$ – параметры астрометрической редукции (вид модели коэффициентов постоянных пластинки, параметры формирования матрицы весов обобщенного МНК, коэффициент отбрасывания многопроходowego МНК и так далее).

На основании полученных оценок экваториальных координат отметок и данных из опорного звездного каталога производится формирование внутреннего каталога неподвижных объектов с последующим проведением фотометрического пересчета для оценки видимого блеска объектов по методу, изложенному в [6]. На выходе формируется совокупность N_{ommBK} отметок внутреннего каталога $G_{BK} = (Y_{1teq}, \dots, Y_{iteq}, \dots, Y_{N_{omm}teq})$, принадлежащих неподвижным объектам и не участвующих в дальнейшей обработке. Формирование данной совокупности отметок зависит от совокупности параметров первичной (внутрикадровой) обработки $\Psi_{перв} = (\Psi_{CKDO}, \Psi_{предв}, \Psi_{oc}, \Psi_{асгр})$ и от параметров формирования внутреннего каталога и оценки видимого блеска отметок Ψ_{BK} (радиус поиска неподвижных объектов, количество кадров, необходимое для принятия решения о неподвижности объекта и так далее): $G_{BK} = f_{BK}(Y_{teq}, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{BK})$.

Отметки, не вошедшие во внутренний каталог неподвижных объектов, проходят отбраковку по уровню оценки видимого блеска с параметрами $\Psi_{отбр}$, после которой формируется совокупность N_{ommh} отметок, поступающих на вторичную (межкадровую) обработку:

$$G_h = (Y_{1teq}, \dots, Y_{iteq}, \dots, Y_{N_{omm}teq}) = f_{отбр}(Y_{teq}, G_{BK}, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{BK}, \Psi_{отбр}).$$

В ходе вторичной (межкадровой) обработки, которая производится согласно вычислительных методов, изложенных в [7] с параметрами $\Psi_{втор}$ принимается решение о наличии на данной серии кадров N_{mp} траекторий, часть из которых является траекториями астероидов, а часть является ложными траекториями:

$$\Theta_h = (\Theta_1, \dots, \Theta_i, \dots, \Theta_{N_{mp}}) = f_{втор}(G_h, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{BK}, \Psi_{отбр}, \Psi_{втор}).$$

Исходя из вышесказанного, целевую функцию (3), можно представить как функцию от ряда параметров, включая элементы матрицы размытия:

$$D(U_{исх}, Y_{cat}, \Theta_h, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{БК}, \Psi_{отбр}, \Psi_{втор}) \xrightarrow{\beta, \lambda} \max \quad (8)$$

при $\sigma_{\alpha, \delta}(U_{исх}, Y_{cat}, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{БК}, \Psi_{отбр}, \Psi_{втор}) \leq k_0 \sigma_0$

$$F(U_{исх}, Y_{cat}, \Theta_h, \beta, \lambda, \Psi_{перв}, \Psi_{БК}, \Psi_{отбр}, \Psi_{втор}) \leq F_{треб}. \quad (9)$$

Таким образом, элементы матрицы размытия оказывают влияние практически на все этапы обнаружения астероидов, поэтому определение их оптимальных значений является важной и сложной задачей.

6. Поиск оптимальных значений элементов матрицы размытия

Поставленную оптимизационную задачу невозможно решить аналитически. Причинами этого являются сложность целевой функции и ограничений, трудность вывода аналитических выражений для зависимости введенных выше функций (целевой и ограничений) от искомых параметров. Задача решается методом имитационного моделирования на экспериментальных данных.

В качестве экспериментальных данных используется набор тестовых серий ПЗС-кадров, соответствующих различным режимам наблюдения или различным наблюдательным средствам. Для каждой серии известно (по данным МРС и результатам ручной обработки серий) количество астероидов, находящихся на исследуемом участке неба и оценка местоположения изображений оптических сигналов от них на ПЗС-кадрах серии.

Имитационное моделирование проводится следующим образом. Для каждой тестовой серии ПЗС-кадров проводится перебор значений λ, β . Для каждого сочетания значений λ, β проводятся все этапы обработки, после чего рассчитывается значение целевой функции по формуле (8) при ограничениях (9). В качестве оптимальных принимаются значения, соответствующие наибольшему значению целевой функции.

Оптимальные значения λ, β зависят от характеристик аппаратуры, условий и режимов наблюдения, поэтому данную оптимизационную задачу следует решать независимо для каждого оптического средства.

7. Результаты эксперимента

Определение оптимальных значений элементов матрицы размытия проводилось при помощи автоматизированной системы обнаружения астероидов CoLiТес, в разработке которой принимали участие авторы. Экспериментальные исследования проводились в Андрушевской астрономической обсерватории на телескопе Zeiss-600 с диаметром зеркала 60 см., оснащенном ПЗС-камерой FLI PL09000 (размер кадра при съемке с одинарным бинированием 1528x1528 пикселей, использовалась экспозиция 30 с.) и в российской дистанционно управляемой обсерватории ISON-NM, расположенная в штате Нью-Мексико (США) на астрографе Astroworks Centurion-18 с диаметром зеркала 45 см., оснащенном ПЗС-камерой FLI ML09000-65 (размер кадра при съемке без бинирования 3056x3056 пикселей, использовалась экспозиция 240 с.).

В таблицах 1, 2 приведены значения показателей качества обнаружения и оценки местоположения астероида для Андрушевской астрономической

обсерватории (таблица 1) и для обсерватории ISON-NM (таблица 2) для типичных сочетаний значений элементов матрицы размытия.

Таблица 1. Значения показателей качества обнаружения и оценки местоположения астероида для Андрушевской астрономической обсерватории

№соч.	Сочетание β/λ	$\sigma_{\alpha,\delta}$, уг. с	\mathcal{B}_θ	\mathcal{K}^* , 1×10^{-5}
1	0/0	0,668	0,3	0,75
2	0,25/0,062	0,780	0,95	0,75
3	0,25/0,25	0,721	0,83	1,1
4	0,5/0,25	0,748	0,87	0,75
5	0,5/0,5	0,746	0,79	0,75
6	0,71/0,5	0,760	0,80	0,75
7	1/1	0,801	0,88	3,0

Таблица 2. Значения показателей качества обнаружения и оценки местоположения астероида для обсерватории ISON-NM

№ Соч.	Сочетание β/λ	$\sigma_{\alpha,\delta}$, уг. с	\mathcal{B}_θ	\mathcal{K}^* , 1×10^{-5}
1	0/0	0,849	0,3	0,7
2	0,25/0,062	0,913	0,85	2,96
3	0,25/0,25	0,903	0,88	0,8
4	0,5/0,25	0,882	0,97	1,08
5	0,5/0,5	0,889	0,85	1,32
6	0,71/0,5	0,862	0,88	0,8
7	1/1	0,917	0,93	2,96

Из таблиц 1 и 2 следует, что экстремально низкое (кроме точности) показатели качества обнаружения демонстрируют сочетания № 1 и № 7 для обеих обсерваторий, которые соответствуют отсутствию матрицы размытия. В остальных случаях показатели качества обнаружения достаточно близки.

Для обсерватории ISON-NM следует выделить сочетание № 4, которое обеспечивает наилучшую условную вероятность правильного обнаружения астероида при приемлемой точности оценки местоположения астероида и сравнительно небольшом уровне условной вероятности ложного обнаружения астероида. Для Андрушевской астрономической обсерватории в качестве наилучших можно предложить использовать сочетание № 2 или № 4.

Сочетания 2, 4 и 6 представляют собой варианты пространственного гауссовского фильтра низких частот для различных значений СКО. Передаточная функция подобного фильтра имеет вид [8]:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (15)$$

где x, y – координаты рассматриваемого пикселя относительно центрального пикселя;

σ – СКО передаточной характеристики.

Выводы

В статье разработан метод определения оптимальных значений матрицы размытия по критерию максимума условной вероятности правильного обнаружения астероидов при ограничениях на значения условной вероятности ложного обнаружения и возможного увеличения СКО оценки экваториальных координат астероида. Оптимальные значения элементов матрицы размытия определяются методом имитационного моделирования на экспериментальных данных отдельно для каждого телескопа.

Экспериментально проиллюстрировано, что применение матрицы размытия значительно повышает показатели качества обнаружения при приемлемом снижении точности оценки местоположения сигнала от астероида. Наилучшие значения элементов матрицы размытия соответствуют значениям элементов гауссовских фильтров низких частот с различными значениями СКО и зависят от аппаратуры, условий и режимов наблюдения. Выигрыш в условной вероятности правильного обнаружения астероида при применении матрицы размытия с оптимальными значениями элементов может достигать 14 % – 20 % при практически неизменном значении УВЛО астероида и приемлемом проигрыше в СКО оценки экваториальных координат астероидов.

В дальнейшем предполагается разработка метода автоматического определения оптимальных значений элементов матрицы размытия.

Список литературы: 1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений/ Пер. с англ. - М: Техносфера, 2005.-1072с. 2. *Mighell K.J.* Algorithms for CCD Stellar Photometry. *Astronomical Data Analysis Software and Systems VIII ASP Conference Series*, ed. D. V. Mehringer, R. L. Plante. and D. A. Roberts, Vol 172, p 317 – 328, 1999. 3. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров // Системи озброєння та військова техніка. – Харків: ХУПС, 2010. – Вип. 3(23). – С. 154 – 159. 4. Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка координат астероида на дискретном изображении // Радиотехника: Всеукр. міжвед. науч.-техн. зб. 2010. Вип. 162. – С. 78 – 86. 5. Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка экваториальных координат астероида по оценкам его координат на ПЗС-кадре // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС, 2010. – Вип. 6(87). – С. 172 – 179. 6. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П. Оценка блеска астероида по амплитуде его сигнала на ПЗС-кадре // Системи управління навігації та зв'язку : Зб. наук. пр. – Київ: ЦНДІ НІУ, 2010. – Вип. 3(15). – С. 46 – 50. 7. Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Диков Е. Н. Метод обнаружения астероидов, основанный на накоплении сигналов вдоль траекторий с неизвестными параметрами // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: ХУПС, 2011. – Вип. 2(92). – С. 137 – 144. 8. *Shapiro, L. G. & Stockman, G. C.* "Computer Vision", P. 137, 150. Prentence Hall, 2001.

Поступила в редколлегию 29.08.2001